

무선 환경에서 새로운 에너지 절약형 전송 프로토콜

(A New Energy Saving Transport Protocol
in Wireless Environments)

황 세 준[†] 이 정 민[†] 정 광 수^{**}
(Saejoon Hwang) (Jungmin Lee) (Kwangsue Chung)

요약 무선 네트워크는 한정된 배터리 전원에 의존하는 이동 휴대 기기를 사용하기 때문에 무선 통신 프로토콜을 설계하는데 있어서 에너지 효율에 대한 고려가 필요하게 되었다. 무선 환경에서 대표적인 TCP 성능 향상 연구 중에 하나인 TCP-Westwood는 ACK를 이용한 샘플링 기법으로 가용 대역폭을 측정한다. 측정된 가용 대역폭을 이용해서 효과적인 데이터 전송을 할 수 있다는 장점을 갖는 반면에, TCP-Westwood 송신단이 무선 구간에서 있을 경우에 대한 고려가 미흡하다.

본 논문에서는 TCP-Westwood의 송신단이 무선 구간에서 있을 경우에 발생하는 문제점을 보완하기 위해서 새로운 전송 프로토콜인 E2TP(Energy Efficient Transport Protocol)를 제안한다. 제안한 E2TP는 패킷 손실이 발생할 경우에는 일시적인 전송 단위 조절을 이용한 재전송 방법을 사용하여 보다 효과적인 데이터 전송을 수행한다. E2TP의 성능을 검증하기 위한 실험 결과, E2TP가 전송률 및 에너지 효율 측면에서 TCP와 TCP-Westwood보다 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

키워드 : 802.11b 무선 LAN, 무선 TCP, 전송 단위 조절, 대역폭 측정, 전력소비 비교, 에너지 효율

Abstract Mobile portable devices for wireless network solely depend on a limited battery power. Therefore, we need to design for wireless communication protocols with an energy efficiency. TCP-Westwood is one of the most important approaches on TCP performance improvement in wireless environments that estimates the available bandwidth by using the sampling mechanism. The advantage is that data can be transmitted efficiently using the estimation of available bandwidth. However, when the sender with TCP-Westwood is in a wireless environment, it does not consider of the sampling mechanism operation.

In this thesis, a new energy saving transport protocol, called E2TP(Energy Efficient Transport Protocol), is proposed to solve problems which occur when the sender with TCP-Westwood is in a wireless environment. Also, when there are packet loss while doing frequent link error in a wireless environment, E2TP provides the instantaneous segment size adjustment for a more efficient data retransmission. The simulation result proves that the proposed E2TP has better performance in energy efficiency and throughput than both TCP and TCP-Westwood.

Key words : 802.11b wireless LANs, wireless TCP, segment size adjustment, bandwidth estimation, comparison of energy consumption, energy efficiency

· 본 연구는 한국과학재단 특장기초연구 (R01-2005-0000-10934-0(2005))의 지원과 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 원천기반기술개발사업의 지원에 의한 것임

† 학생회원 : 광운대학교 전자공학부
ilmare96@naver.com
jmlee@adams.kw.ac.kr

** 종신회원 : 광운대학교 전자공학부 교수
kchung@kw.ac.kr

논문접수 : 2004년 11월 29일

심사완료 : 2005년 9월 15일

1. 서론

최근 인터넷 및 초고속 정보통신이 급격히 확산되면서 사용자들은 보다 편리한 인터넷 서비스를 요구하게 되었다. 또한 노트북 컴퓨터, PDA(Personal Digital Assistants) 등과 같은 이동 휴대 기기의 사용이 증가함에 따라 무선으로 네트워크를 구성하거나 인터넷에 접속할 수 있는 무선 네트워크 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1].

무선 네트워크는 유선 네트워크에 비해 배터리 전원 기반으로 동작하는 이동 휴대 기기를 주로 사용한다. 이런 이동 휴대 기기는 한정된 배터리 전원으로 동작하기 때문에 에너지 효율을 고려한 통신 메커니즘에 관한 연구가 필요하게 되었다. 에너지 효율을 고려한 연구는 다양한 각도에서 살펴볼 수 있다. 하드웨어 자체의 불필요한 에너지 소모를 줄여서 에너지 효율을 향상시키는 방법이 가장 효과적인 방법이 될 수 있으나, 본 논문에서는 하드웨어적인 측면은 고려하지 않고, 소프트웨어적인 접근 방법인 전송 프로토콜의 불필요한 동작을 줄여서 에너지 효율을 향상시키는 방법에 집중하고자 한다.

현재 인터넷에서는 전송 프로토콜로 TCP(Transmission Control Protocol)를 많이 사용하고 있다. TCP는 전송 오류로 인한 패킷 손실이 거의 없는 유선 환경에 최적화되었기 때문에 미디어의 특성상 패킷 손실이 상대적으로 빈번한 무선 환경의 적용에 대해서는 충분한 고려를 하지 않고 있다. 그래서 전송오류가 빈번하게 발생하는 무선 환경에서 기존의 TCP를 수정 없이 전송 프로토콜로 사용한다면 성능 저하라는 문제가 발생하게 된다. 또한 에너지 효율 관점에서 보면 TCP의 불필요한 혼잡 제어(Congestion Control)로 인한 전송량 감소 및 무선 환경을 고려하지 않은 패킷 재전송으로 인하여 불필요한 에너지 소모가 발생함으로써 이동 휴대 기기의 에너지 효율을 저하시킨다[2-4].

본 논문에서는 무선 환경에서 TCP 성능 향상 및 에너지 효율을 고려한 새로운 전송 프로토콜인 E2TP(Energy Efficient Transport Protocol)를 제안한다. 제안한 E2TP는 무선 환경에서 TCP 성능 향상을 위한 대표적인 연구 중에 하나인 TCP-Westwood의 샘플링(Sampling) 기법을 이용한 가용 대역폭 측정 방법을 무선 환경에서 에너지 효율 향상에 적합하도록 수정한 것이다. 그리고 패킷 손실이 발생할 때에는 일시적인 전송 단위 조절을 이용한 효과적인 재전송을 수행하여 TCP 성능 및 에너지 효율 향상을 보여 준다.

본 논문의 2장에서는 무선 환경에서 기존 TCP를 적용했을 때의 문제점과 무선 환경에서 TCP 성능 향상을 위한 대표적인 관련 연구들에 대해 살펴보고, 3장에서는 에너지 효율 관점에서 기존 연구의 문제점과 제안한 E2TP에 대하여 기술하였다. 4장에서는 시뮬레이터를 이용한 성능 및 에너지 효율 측면에 대한 결과 및 분석 내용을 기술하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺었다.

2. 관련연구

본 장에서는 무선 환경에서 기존 TCP를 적용할 때의 문제점에 대해서 살펴보고, 이를 바탕으로 무선 환경에

서의 TCP 성능을 향상시킨 대표적인 연구들에 대하여 기술한다.

2.1 무선 환경에서 기존 TCP를 적용했을 때의 문제점

기존 TCP는 송신단에서 패킷 손실이 발생하는 모든 오류를 통신망의 혼잡(Congestion) 상황이라고 판단하는 것으로 간주한다. 그래서 전송오류가 발생하면 TCP 혼잡 제어 메커니즘을 사용하여 전송량을 조절한다. 그러나 무선 환경에서는 전송오류의 원인이 다양하기 때문에 기존의 혼잡 제어 방식에만 의존하는 것은 문제가 있다[2-4]. 무선 환경에서는 잡음(Noise), 페이딩(Fading) 그리고 간섭(Interference) 등으로 인한 높은 비트 에러율(Bit Error Rate)에 의해서 패킷 손실이 발생할 수 있다. 따라서 기존 TCP는 패킷 손실이 혼잡에 의해 발생하였는지, 아니면 열악한 무선 환경에 의해 발생하였는지 구분할 수 없으므로 모든 패킷 손실을 혼잡으로 간주할 경우 성능 및 에너지 효율 저하를 초래할 수 있다[3,4].

2.2 무선 환경에서의 TCP 성능 향상을 위한 대표적인 연구들

무선 환경에서 기존 TCP를 사용할 때 발생하는 문제점들을 보완하기 위해서 무선 환경을 고려한 전송 프로토콜에 대한 많은 연구들이 수행되어 왔다. 무선 환경을 고려한 전송 프로토콜에 관한 연구는 크게 단대단(End-to-End) 접근 방법, 유무선 미디어에 따른 분할 연결(Split Connection) 접근 방법, 그리고 무선 환경을 고려한 새로운 전송 프로토콜 연구로 분류할 수 있다.

단대단 접근 방법은 송신단과 수신단에서 무선 환경을 고려하여 적절한 알고리즘을 적용하는 방법으로서 대표적인 연구로는 TCP-Westwood가 있다[5]. 유무선 미디어에 따른 분할 연결 접근 방법은 유선 링크 구간과 무선 링크 구간을 구분하여 관리한다. 유선 링크 구간에서는 기존의 TCP를 수정 없이 사용하고, 무선 링크 구간에서는 무선 환경을 고려한 수정된 TCP를 이용해서 패킷을 전송하는 방법으로서 대표적인 연구로는 I-TCP(Indirect-TCP), Snoop TCP, 그리고 VS-TCP(Variable Segment Size-TCP) 등이 있다[6-8]. 무선 환경을 고려한 대표적인 새로운 전송 프로토콜 연구로는 하위 계층의 SNR(Signal to Noise Ratio) 정보를 이용해서 전송 계층을 제어하기 위하여 하나의 계층을 추가하는 방법이 있다[9].

2.2.1 TCP-Westwood

TCP-Westwood는 TCP의 고유한 단대단 특성을 이용한 접근 방법으로 유무선 통합 링크에서 ACK를 이용한 샘플링 기법을 사용하여 현재의 가용 대역폭을 측정한다[5]. 유선 링크에 있는 송신단들이 병목구간(Bottleneck Link)을 거쳐 무선 링크에 있는 수신단

로 패킷을 전송할 경우에 송신단은 사용할 수 있는 최대 가용 대역폭을 계산하여 혼잡 윈도우(Congestion Window, cwnd) 크기 및 슬로우 스타트 임계값(Slow Start Threshold, ssthresh)을 설정한다. TCP-Westwood는 계산된 가용 대역폭을 이용하여 효과적인 데이터 전송을 한다는 장점을 갖는 반면에, 무선 링크에 송신자가 있을 때 ACK를 이용한 샘플링 방법의 오류로 인해 가용 대역폭을 정확하게 측정하지 못한다는 문제점을 가지고 있다. TCP-Westwood의 알고리즘은 그림 1과 같이 의사코드(Pseudocode)로 나타낼 수 있다. 그림 1에서 RTT_{min} 은 데이터 통신 기간 동안에 최소 RTT(Minimum Round Trip Time)를 나타낸다.

```

If (3-duplicate ACK are received) {
  ssthresh = (bandwidth estimate *  $RTT_{min}$ ) / segment size;
  if ssthresh < 2 then ssthresh = 2;
  cwnd = ssthresh;
}

If (coarse timeout expires) {
  ssthresh = (bandwidth estimate *  $RTT_{min}$ ) / segment size;
  if ssthresh < 2 then ssthresh = 2;
  cwnd = 1;
}
    
```

그림 1 TCP-Westwood의 알고리즘

2.2.2 VS-TCP

VS-TCP는 그림 2와 같은 유무선 미디어에 따른 분할 연결 구조를 갖는 접근 방식으로 무선 링크 구간에서 동작하는 전송 프로토콜이다[8]. VS-TCP의 특징은 무선 구간에서 혼잡 제어 메커니즘을 사용하지 않고, 적응적인 세그먼트 크기(Adaptive Segment Size)를 이용한 비혼잡 제어 메커니즘(Non-congestion Control Mechanism)을 사용한다. 또한 비혼잡 제어 메커니즘을 위해 오직 애드버타이즈 윈도우(Advertised Window)를 사용해서 수신단 버퍼의 오버플로우를 방지하고자 제안되었다. 하지만 무선 구간에서는 오직 랜덤 손실(Random Loss)만 존재해야하고, 다른 트래픽의 존재를

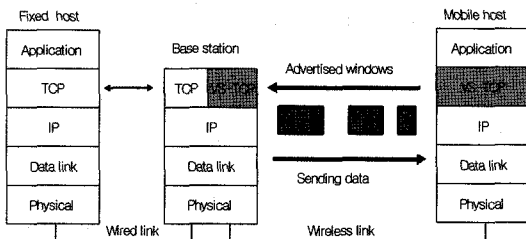


그림 2 VS-TCP의 구조

배제한다. 그리고 BS(Base Station)에서 VS-TCP를 위하여 세그먼트 크기 등을 조절해 주는 기능이 필요하며, 세그먼트이션 수행 과정으로 인하여 BS에서 오버헤드가 발생한다는 문제를 갖고 있다.

3. Energy Efficient Transport Protocol

본 장에서는 에너지 효율 관점에서 기존 연구의 문제점을 분석하고, 무선 환경에서의 TCP 성능 향상과 에너지 효율 측면을 고려한 E2TP(Energy Efficient Transport Protocol)에 대해서 기술한다. E2TP는 TCP-Westwood의 샘플링 방법을 이용한 대역폭 측정 알고리즘을 수정하여 제안되었다. 그리고 패킷이 손실될 때 일시적인 전송단위 조절 방법을 이용한 새로운 재전송 방법을 사용하여 TCP 성능 및 에너지 효율을 향상시켰다.

3.1 에너지 효율 관점에서 기존 연구의 문제점

3.1.1 TCP 송신단이 이동 휴대 기기인 경우에 대한 고려가 미흡

대다수의 무선 환경에서 TCP 성능 향상을 위한 연구들은 이동 휴대 기기가 서비스 지역을 이동하여 발생하는 핸드오프(Hand-off) 처리에 대한 연구들이다. 에너지 효율 관점에서 생각을 하면 TCP 송신단이 이동 휴대 기기일 경우를 고려해야 한다. 유선 호스트가 TCP 송신단일 경우는 기간 전력망을 통해 전원을 공급받으므로 에너지 효율이 별로 문제가 되지 않는다. 그러나 TCP 송신단이 이동 휴대 기기일 경우는 전원 공급을 배터리에 의존하기 때문에 에너지 효율에 대한 연구가 매우 중요하다. 기존 연구 중에 하나인 Snoop TCP는 BS(Base Station)에 에이전트를 위치시켜, 손실된 패킷에 대한 재전송을 수행한다. 하지만 TCP 송신단이 이동 휴대 기기일 경우에는 BS에서 이동 휴대 기기로 ELN(Explicit Loss Notification) 메시지를 전송할 수 있어야 하며, 이동 휴대 기기도 ELN 메시지 수신 기능이 필요하다.

3.1.2 적응적인 전송 단위 조절 방법을 사용할 경우의 문제점

적응적인 전송 단위(Adaptive Segment Size)조절 방법은 무선 링크 에러로 인한 패킷 손실이 발생할 경우에 전송 단위를 조절한다. 무선 링크 에러가 빈번하게 발생할 경우에는 고정된 크기의 전송 단위를 사용하는 것보다 적응적인 전송 단위 조절 방법이 효과적인 데이터 전송을 수행하지만, 무선 구간에서 연속적인 혼잡 상황이 지속된다면 문제가 발생한다. 그림 3은 혼잡 상황이 지속될 경우에 발생하는 전송 단위 감소의 악순환을 나타낸다. 3개의 중복 ACK를 수신하면 TCP 송신단은 전송 단위를 조절해서 전송을 한다. 하지만 혼잡 상황이

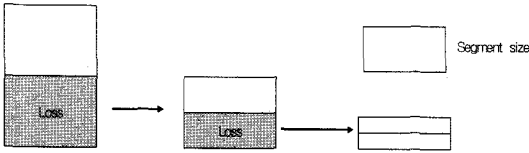


그림 3 혼잡 상황이 지속될 경우에 발생하는 전송 단위 감소의 악순환

지속되어서, 다시 3개의 중복 ACK를 수신한다면 전송 단위를 한 번 더 조절하게 된다. 이런 현상이 반복될 경우, 전송하는 데이터 보다 헤더의 크기가 큰 세그먼트를 전송하게 되어서 오버헤드 문제가 발생하게 된다.

3.2 E2TP의 고려 사항

E2TP는 무선 환경에서 TCP 성능 및 에너지 효율 향상을 위해 몇 가지 사항들에 대하여 고려하였다. 첫 번째, TCP의 에너지 소비 형태이다. 통신 프로토콜은 사용 목적 및 동작 방법에 따라 에너지 소비량의 차이가 있기 때문에 TCP의 에너지 소비 특성에 대한 분석이 필요하다. 두 번째, 전송률, 패킷 에러율, 그리고 전송 단위의 관계이다. 무선 환경은 다양한 원인에 의해서 전송오류가 발생하기 때문에 전송률 향상 및 에너지 효율을 고려한 방법이 필요하다. 마지막으로 무선 환경은 유선 환경에 비해 제한적인 대역폭을 사용함으로써 가용 대역폭 확보가 필수적이며, 현재의 가용 대역폭을 측정할 수 있는 알고리즘이 필요하므로 E2TP는 ACK를 이용한 가용 대역폭 측정 방법을 사용하였다.

3.2.1 TCP의 에너지 소비 형태에 대한 분석

에너지 소비 형태는 크게 데이터 통신으로 인하여 시스템에서 소비되는 에너지 E_{Total} (Total Energy Consumption)과 유휴 상태 동안 소비되는 에너지 E_i (Idealized Energy Consumption)로 구분할 수 있다. 그림 4는 TCP의 에너지 소비 형태를 나타낸다. 그림 4에서 알 수 있듯이 유휴 기간(Idle Period) 동안은 무선 네트워크 인터페이스 카드와 같은 자체 시스템에 의해 일정한

양의 에너지를 소비하게 된다. 그리고 패킷 송수신시에는 유휴 기간 보다 좀 더 많은 양의 에너지가 소비되는 것을 알 수 있다. 그림 4를 바탕으로 유휴 기간 동안 소비되는 에너지를 E_{Idle} , 패킷 송수신시 소비되는 에너지를 E_{TX} 와 E_{RX} , 그리고 총 데이터 전송 시 필요한 시간 및 송수신 시 필요한 시간을 t_{Total} , t_{TX} , t_{RX} 로 표현하면, 소비되는 에너지 E_{Total} 은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$E_{Total} = E_{Idle}(t_{Total} - t_{TX} - t_{RX}) + E_{TX} t_{TX} + E_{RX} t_{RX} \quad (1)$$

3.2.2 전송률, 패킷 에러율, 그리고 전송 단위의 관계에 대한 분석

그림 5는 베르린 공대(Technical University Berlin)의 통신망 그룹(Telecommunication Networks Group)에서 2001년 8월에 발표한 기술 문서(Technical Report)의 내용이다[10]. 그림 5에서 보듯이 패킷 크기(Packet Size) 및 데이터 전송 속도(Data Rate)가 클수록 전송률(Throughput)은 향상된다. 반면에 패킷 크기가 클수록 패킷 에러율(Packet Error Rate, PER)에 민감하다는 것을 알 수 있다. 에너지 효율 관점에서 전송 계층은 이런 두 가지 현상에 대한 고려가 필요하다. 크기가 큰 패킷으로 전송하면 총 패킷 전송 횟수가 줄어들고 전송률이 향상된다는 장점을 갖지만, 높은 무선 링크 에러가 빈번할 경우 패킷 재전송의 부담이 증가된다는 문제가 발생한다. 반면에 작은 크기의 패킷으로 전송할 경우에는 무선 링크 에러에 강건하다는 장점을 갖지만, 전송률이 감소되고 에너지 효율 관점에서는 한정된 전원으로 보다 효율적인 데이터 전송을 수행하지 못하

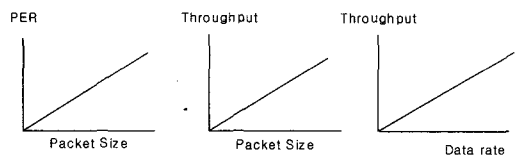


그림 5 전송률, 패킷 에러율, 그리고 패킷 크기의 관계

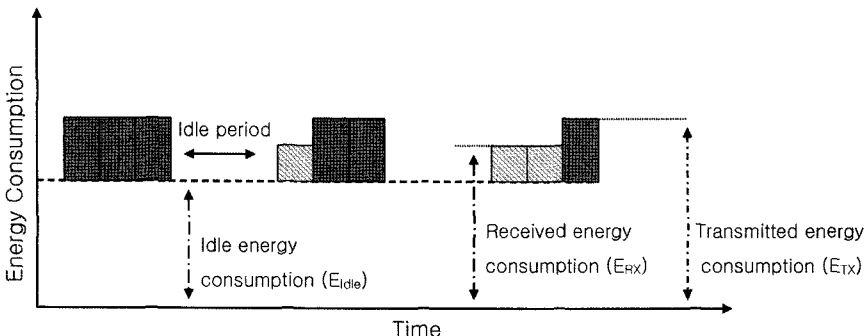


그림 4 TCP의 에너지 소비 형태

였기 때문에 오히려 에너지 효율을 저하시키는 문제가 발생된다. 에너지 효율은 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$\text{에너지 효율} = \text{전송량(bytes)} / \text{소비된 에너지(J)} \quad (2)$$

3.3 E2TP의 알고리즘

본 논문에서는 무선 환경에서 TCP 성능 및 에너지 효율을 향상시키고자 E2TP를 제안한다. 제안한 E2TP는 TCP-Westwood의 가용 대역폭 추정 알고리즘을 무선 환경에서 에너지 효율 향상에 적합하도록 수정하였고, 패킷 손실이 발생할 경우에 무선망에서 효과적인 패킷 전송을 위하여 일시적인 전송 단위 기법을 이용한 새로운 재전송 방법을 제시한다.

3.3.1 TCP-Westwood에서 사용하는 샘플링 방법의 문제점

TCP-Westwood는 ACK를 이용한 샘플링 기법으로 현재의 가용 대역폭을 계산하여 혼잡 윈도우 크기 및 슬로우 스타트 임계값을 설정한다. 그러므로 효율적으로 대역폭을 사용할 수 있다. 하지만 무선 환경에서 ACK를 이용한 샘플링 방법의 오류로 인해 가용 대역폭을 정확하게 측정하지 못하는 문제를 가지고 있다. 본 절에서는 Nyquist의 샘플링 이론을 이용해서 TCP-Westwood에서 사용하는 샘플링 방법의 문제점을 기술한다.

그림 6은 주파수 스펙트럼의 중첩된 부분을 표현한 것으로 무선 환경에서는 이중 네트워크 또는 동종 네트워크에 의해 주파수 간섭이 빈번하게 발생한다. 무선 구간에는 TCP-Westwood의 송신단이 신호 왜곡 기간에 샘플링을 수행한다면, 왜곡된 샘플링 정보로 인해 잘못된 가용 대역폭을 측정하여 데이터를 전송하기 때문에 패킷 손실이 발생한다. 또한 에너지 효율 및 TCP 성능에도 영향을 주게 된다. 이런 주파수의 간섭으로 인하여 발생하는 신호 왜곡 현상을 앨리어싱(Aliasing)이라고 한다. 앨리어싱 현상이 발생할 경우에는 주파수 성분을 바꾸면 되지만, 상위 계층에서는 앨리어싱 현상을 인지하지 못한다. 또한 주파수 성분을 바꾸는 방법도 쉬운 방법이 아니다.

그리고 유선 환경에 비해 제한적인 대역폭을 사용하는 무선 환경은 TCP 송신단 주변에 역방향 트래픽을 비롯한 다수의 데이터들이 이동함에 따라 지연된 ACK가 빈번하게 발생한다. TCP-Westwood의 샘플링 방법

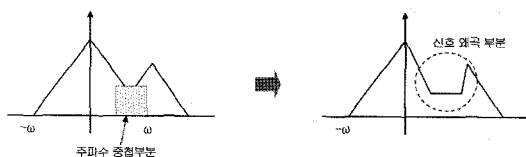


그림 6 주파수 간섭으로 인한 신호 왜곡 현상

은 무선 환경에서 지연된 ACK가 빈번하게 발생할 경우에 대한 대처 방법이 미약하다. TCP-Westwood는 식 (6)과 같이 현재의 가용 대역폭을 측정하기 위해서 현재의 세그먼트 크기를 ACK 도착 간격으로 나눈 샘플 대역폭(Sample Bandwidth : Bs)을 만든다.

$$\text{샘플 대역폭}(Bs) = \text{현재의 세그먼트 크기} / \text{ACK 도착 간격} \quad (6)$$

식 (6)으로 계산된 샘플 대역폭 Bs는 식 (7)과 같이 저역 통과 필터(Low-Pass Filter)를 이용하여 현재의 가용 대역폭(Current Bandwidth : Bc)을 계산한다. 식 (7)에서 ACK 도착 간격을 Δk , 샘플링 주파수를 τ 라 하면 a 는 $\frac{2\tau - \Delta k}{2\tau + \Delta k}$ 로 나타낼 수 있다.

$$Bc[n] = a * Bc[n-1] + (1-a) * \left(\frac{Bs[n] + Bs[n-1]}{2} \right) \quad (7)$$

ACK를 이용한 샘플링 기법으로 현재의 가용 대역폭을 측정하는 TCP-Westwood는 식 (7)이 Nyquist의 샘플링 이론을 충족시키기 위해서는 ACK의 RTT에 해당되는 Δk 를 일정하게 유지하는 것이 중요하다. Nyquist의 샘플링 이론은 식 (8)로 나타낼 수 있다[13].

$$\begin{aligned} \text{Nyquist의 샘플링 이론} &= \text{샘플링 주파수}(\tau) \geq 2 * \text{현재의 가용 대역폭}(Bc) \\ &= Bc \leq \frac{\tau}{2} \quad (8) \end{aligned}$$

TCP-Westwood는 연속적인 ACK 수신으로 현재의 가용 대역폭(Bc)을 측정하기 위한 샘플 대역폭 Bs를 만들기 때문에 식 (8)을 만족시키기 위해서는 Δk 의 값을 일정하게 유지해야 한다. 식 (9)는 TCP-Westwood가 식 (8)을 만족시키기 위한 조건을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \text{Nyquist 샘플링 이론을 성립하기 위한 조건} \\ &= \Delta k < \frac{\tau}{2} \quad (9) \end{aligned}$$

식 (9)에서 ACK를 수신하기 위한 지연 시간이 발생하면 $\Delta k > \frac{\tau}{2}$ 가 된다. Δk 의 증가는 지연 시간이 발생한 것이지만, TCP 송신단에서는 타임아웃이 발생하여 패킷 손실이 발생한 것으로 인식하고 재전송을 수행하게 된다. TCP 송신단에서 재전송을 수행한 후에 손실된 줄로 알았던 지연된 ACK를 수신한다면 TCP-Westwood는 가용 대역폭을 잘못 계산하여 전송률 저하라는 문제가 발생한다. 또한 에너지 효율 관점에서 Bc를 0으로 잘못 계산한다면 송신단의 불필요한 유휴기간을 발생시켜서 비효율적인 에너지 사용의 원인을 제공하게 된다.

3.3.2 E2TP의 가용 대역폭 측정 방법

E2TP는 TCP-Westwood의 샘플링 방법을 Nyquist

의 샘플링 이론에 만족하도록 수정한 직접 필터링 (Directly Filtering) 기법을 사용하여 가용 대역폭을 계산한다. E2TP가 사용하는 직접 필터링 기법은 ACK 도착 간격 및 현재의 세그먼트 크기를 각각 저역 통과 필터를 사용하여 산출함으로써 ACK 도착 간격의 변화에 따른 능동적인 가용 대역폭 측정을 수행하여 TCP-Westwood의 샘플링 문제점을 보완한다. 또한 Nyquist의 샘플링 이론을 만족시킬 수 있으므로 안티-앨리어싱 (Anti-aliasing) 효과도 얻을 수 있다. 그래서 E2TP는 무선 환경에서 가용 대역폭을 이용한 효율적인 데이터 전송을 수행함으로써 TCP 성능 및 에너지 효율을 향상시킨다. 식 (10)은 현재 수신한 ACK에 해당되는 세그먼트 크기와 이전에 수신한 ACK에 해당되는 세그먼트 크기를 저역 통과 필터를 사용하여 계산된 가용 데이터 크기(Available Size : Sa)를 나타내고, 식 (11)은 이전의 ACK 도착 간격과 현재의 ACK 도착 간격을 저역 통과 필터를 사용하여 계산된 가용 시간(Available Time : Ta)을 나타낸다. 식 (10)에서 수신한 ACK에 해당되는 세그먼트의 크기(Segment Size)를 Ss 로 표기했다.

$$Sa[n] = \alpha * Sa[n-1] + (1-\alpha) * \left(\frac{Ss[n] + Ss[n-1]}{2} \right) \quad (10)$$

$$Ta[n] = \alpha * Ta[n-1] + (1-\alpha) * \left(\frac{ack\ interval[n] + ack\ interval[n-1]}{2} \right) \quad (11)$$

식 (10)과 식 (11)로 계산된 값은 식 (12)을 이용해서 현재의 가용 대역폭 Bc 를 계산한다. 그리고 α 값은 TCP-Westwood와 같이 0.9로 설정하였다.

$$\text{현재의 가용 대역폭}(Bc) = \text{가용 데이터 크기}(Sa) / \text{가용 시간}(Ta) \quad (12)$$

3.3.3 일시적인 전송 단위 조절을 이용한 새로운 재전송 방법

그림 7은 무선 링크 에러 기간에 따른 손실되는 세그먼트와 전송된 세그먼트를 보여준다. ①은 무선 링크의 에러 기간을 나타낸다. ②는 크기가 큰 세그먼트로 전송할 경우, 에러 기간에 의해서 전송된 세그먼트와 손실된 세그먼트를 나타내고, ③은 상대적으로 크기가 작은 세그먼트로 전송 시 에러 기간에 따른 전송된 세그먼트 및 손실된 세그먼트의 수를 나타낸다. ②는 ③에 비해서 전송된 세그먼트 보다 손실되는 세그먼트가 많은 반면에, ③은 ②에 비해서 오버헤드 문제가 발생한다. 고정된 전송 단위로 전송할 경우에 무선 링크 에러가 빈번하여 연속적인 패킷 손실이 발생한다면 TCP 송신단의 재전송 횟수가 증가하기 때문에 불필요한 에너지 소모가 발생된다. 또한 송신단은 데이터 통신 기간 동안에 데이터 송수신한 기간보다 많은 유휴 기간이 발생함으로써 비효율적인 에너지 사용의 원인을 제공하게 된다. 그래서 E2TP는 불필요한 재전송 횟수 및 데이터 통신 기간 동안에 불필요한 유휴 기간을 줄여서 에너지 효율을 향상시키고자 일시적인 전송 단위 조절 방법을 사용한다.

제한한 E2TP의 일시적인 전송 단위 조절 시점은 TCP 송신단에서 패킷 손실을 인지하는 중복 ACK를 수신할 경우와 타임아웃(Timeout)이 발생할 경우로 구분할 수 있다. 타임아웃이 발생하면, 현재 세그먼트 크기의 절반으로 줄여서 전송을 한다. 그리고 중복 ACK를 수신할 경우, 원하는 손실 비율(Wanted Loss Ratio)과 패킷 손실 비율(Packet Loss Ratio)을 비교하여 전송 단위를 조절함으로써 전송 단위 조절로 인하여 발생하는 전송률 및 에너지 효율 저하를 최소화한다. 만약 원하는 손실 비율 보다 패킷 손실 비율이 높으면, 타임아웃 발생시의 전송 단위 조절 방법과 같은 방법으로

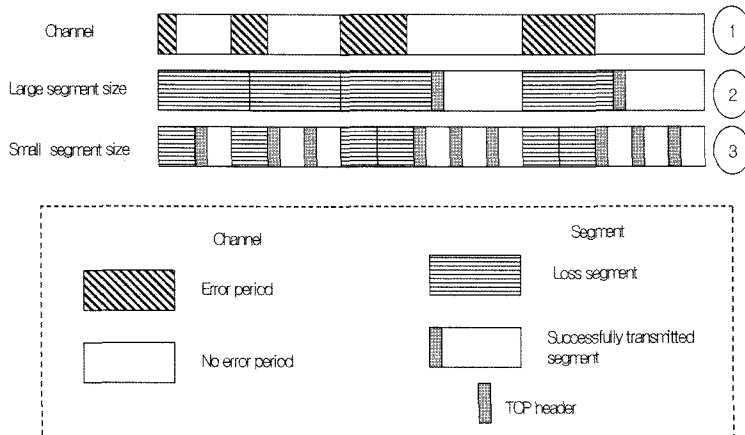


그림 7 세그먼트 크기에 따른 전송량 비교

패킷을 전송한다. 반면에 패킷 손실 비율이 원하는 손실 비율보다 낮거나 같다면, 제안된 직접 필터링 기법으로 측정된 가용 대역폭에 맞는 혼잡 윈도우(Cwnd) 및 슬로우 스타트 임계값(Ssthresh)을 재설정하여 패킷을 전송한다. 그리고 성공적인 세그먼트 전송에 대한 ACK를 수신하면 원래 세그먼트 크기로 전송 단위를 변경하여 데이터를 전송한다. 패킷 손실 비율은 식 (13)으로 계산할 수 있으며, 시간 T는 ACK 도착 간격으로 설정하였다. 또한 실험을 통하여 원하는 손실 비율을 0.4로 설정하였으며, E2TP의 일시적인 전송 단위 조절 알고리즘은 그림 8과 같이 의사코드(Pseudocode)로 나타낼 수 있다.

$$\text{Packet loss ratio} = \text{손실된 데이터의 수} / \text{시간}(T) \quad (13)$$

```

If (coarse timeout expires) {
    segment size = segment size/2;
}
If (duplicate ACK are received) {
    If (packet loss ratio > wanted loss ratio) {
        segment size = segment size/2;
    } else
        adjustment of cwnd and ssthresh;
}
If (ACK for successful transmitted segment is received)
{
    segment size = initial segment size;
}
    
```

그림 8 E2TP의 일시적인 전송 단위 조절 알고리즘

4. 실험 및 성능 평가

새로 제안한 E2TP 알고리즘의 성능 평가를 위하여 본 논문에서는 LBNL(Lawrence Berkly National Laboratory)의 ns-2(Network Simulator)를 이용하여 실험하였다[11].

4.1 실험 환경

제안한 E2TP의 전송률 및 에너지 효율을 검증하기 위해서 그림 9와 같이 실험 환경을 구성하였다. 전송 계층은 TCP-Tahoe, TCP-Westwood, 그리고 E2TP를 사용하였다. W(0)에서는 UDP(User Datagram Protocol)를 이용하여 N(0)로 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽이 1초에 발생한다. 무선 구간에는 N(1), N(2), 그리고 N(3)에서는 다양한 전송 계층에서 FTP(File Transfer Protocol)를 이용하여 각각 W(1), W(2), W(3)으로 데이터 전송을 3초에 시작한다. W(4)와 BS 사이에는 병목구간을 설정하였고 총 60초 동안 시뮬레

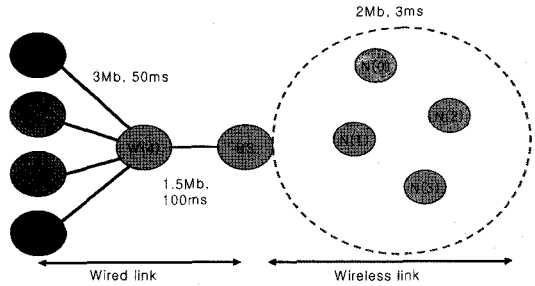


그림 9 시뮬레이션을 위한 네트워크 구성

이션을 하였다. 그리고 무선 구간은 ns-2의 에러 모델을 사용해서 무선 링크에서 송수신되는 패킷에 대하여 랜덤하고 일정하게 0~10%의 패킷 에러율을 적용하였고, 2Mb의 대역폭과, 3ms의 지연 시간을 갖는 IEEE 802.11b MAC(Medium Access Control)을 사용하는 무선 LAN(Local Area Network)으로 설정하였다. 유선 구간의 경우는 그림 9와 같이 구성하였다. 또한 에너지 효율 측면을 실험하기 위해서 ns-2의 에너지 모델과 표 1과 같이 ns-2에서 AT&T사의 제품인 WaveLAN PCMCIA 카드를 모델링을 하여 산출되어 있는 에너지 값을 사용하였다. 각 이동 휴대 기기의 초기 에너지는 100J로 설정하였고, 유휴 기간에 소비되는 에너지는 무선 네트워크 인터페이스 카드에서 소비되는 에너지를 나타낸다.

표 1 에너지 소비 형태와 소비되는 에너지 값

에너지 소비형태	소비되는 에너지 값
송신 패킷 당 소비되는 에너지	0.6 Walt
수신 패킷 당 소비되는 에너지	0.3 Walt
유휴 기간 동안 소비되는 에너지	0.03 Walt

4.2 전송률 비교

그림 10은 패킷 에러율에 따른 TCP-Tahoe, TCP-Westwood, 그리고 E2TP의 전송률을 나타낸다. 전송률은 총 전송량을 전송 시간으로 나누어 산출한 것이다. 패킷 에러율이 0~1%인 실험에서 TCP-Tahoe, TCP-Westwood, 그리고 E2TP의 전송률이 유사하지만, 패킷 에러율이 점차 증가함에 따라 성능의 차이가 나타난다. TCP-Westwood는 패킷 에러율이 2%일 경우에서 TCP-Tahoe보다 전송률이 약간 향상되었으나, 패킷 에러율이 7%, 9%, 10%일 경우를 제외하고는 오히려 TCP-Tahoe보다 성능이 저하되었음을 확인할 수 있다. 제안한 E2TP는 패킷 에러율이 증가함에 따라서 전송률이 점차 감소한다. 그러나 E2TP는 전송률의 변화폭이 적고, 무선 구간에서 TCP-Westwood 송신단의 샘플링 문제를 보완함으로써 기존 연구보다 에러에 강건하여

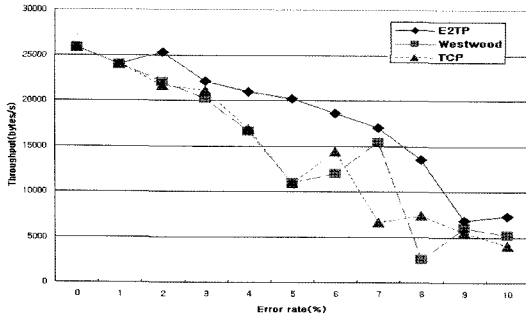


그림 10 패킷 에러율에 따른 전송률 비교

성능이 향상되었음을 알 수 있다.

4.3 소비된 에너지 비교

소비된 에너지는 식 (1)과 같이 패킷 송수신할 때 소비된 에너지와 송신단이 유휴 기간 동안 소비된 에너지의 합으로 계산된다. 그림 11은 TCP-Tahoe, TCP-Westwood, 그리고 제안한 E2TP가 4.2절의 실험에서 소비된 에너지를 비교한 것이다. 패킷 에러율이 0~3%인 경우에는 소비된 에너지가 거의 비슷하다. TCP-Westwood는 패킷 에러율이 4%인 경우에서 소비된 에너지가 TCP-Tahoe나 E2TP에 비해 많다. 반면 E2TP

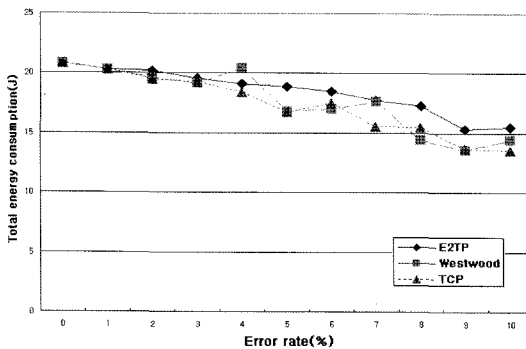


그림 11 패킷 에러율에 따른 소비된 에너지 비교

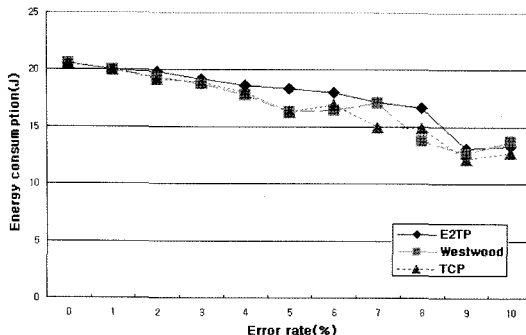


그림 12 데이터 송수신할 때 소비된 에너지

는 패킷 에러율이 점차 증가함에도 불구하고 TCP-Tahoe나 TCP-Westwood보다 많은 데이터 전송을 하였으므로 E2TP의 소비된 에너지가 좀 더 많은 것을 알 수 있다.

그리고 그림 11의 결과는 유휴기간 동안에 소비된 에너지도 포함하고 있으므로 에너지 소비 형태에 대한 분석이 필요하다 그래서 오직 데이터 송수신으로만 소비된 에너지를 그림 12로 나타내었다.

4.4 에너지 효율 비교

그림 13은 패킷 에러율에 따른 TCP-Tahoe, TCP-Westwood, 그리고 E2TP의 에너지 효율을 비교한 것이다. 그림 13에서 보듯이 패킷 에러율이 0~1%인 경우에는 매우 유사한 에너지 효율을 갖지만, 패킷 에러율이 증가하면서 에너지 효율의 차이가 나타나게 된다. TCP-Tahoe나 TCP-Westwood의 경우는 패킷 에러율이 증가함에 따라서 사용한 에너지에 비해서 전송량이 적었기 때문에 에너지 효율의 변동 폭이 크다. 반면 제안한 E2TP는 TCP-Tahoe, TCP-Westwood에 비해 보다 많은 데이터를 효과적으로 전송하였으므로 기존 연구에 비해서 에너지 효율이 향상되었음을 알 수 있다.

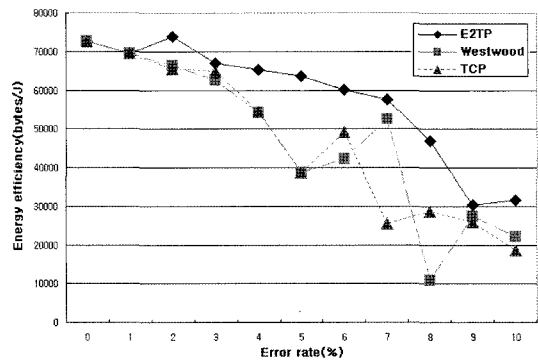


그림 13 패킷 에러율에 따른 에너지 효율 비교

5. 결론

최근 무선으로 네트워크를 구성하거나 인터넷에 접속할 수 있는 무선 네트워크 기술에 대한 요구가 크게 증대되었다. 무선 네트워크는 한정된 배터리 전원으로 동작하는 이동 휴대 기기를 주로 사용하기 때문에 무선 통신 프로토콜을 설계하는데 있어서 에너지 효율에 대한 고려가 필요하다.

현재 인터넷에서 전송 프로토콜로 많이 사용하고 있는 TCP는 전송 오류가 거의 없는 유선 환경에서 사용하도록 최적화되었기 때문에 전송 오류가 빈번하게 발생하는 무선 환경에서 기존 TCP를 사용한다면 성능 및 에너지 효율 저하라는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 ACK를 이용한 샘플링 기법으로 현재의 가용 대역폭을 측정하는 TCP-Westwood 알고리즘을 개선한 E2TP(Energy Efficient Transport Protocol)를 제안하였다. E2TP 알고리즘은 TCP-Westwood의 샘플링 기법을 이용한 대역폭 측정 방법을 개선한 직접 필터링(Directly Filtering)방법을 사용하여 대역폭을 측정한다. 그리고 일시적인 전송단위 조절 방법을 이용한 재전송 기법을 사용해서 무선 링크 에러가 빈번한 환경에서 보다 효과적인 패킷 전송을 수행한다.

시뮬레이터를 이용한 실험을 통하여 제안한 E2TP와 기존의 TCP, TCP-Westwood 사이의 전송률 및 에너지 효율 등을 비교 분석하여, E2TP가 기존 연구보다 성능 및 에너지 효율이 향상되었음을 확인하였다.

향후 연구 과제로는 이동 휴대 기기들로 구성된 다중홉(Multi-hop) Ad-hoc 네트워크 또는 무선 PAN(Personal Area Network)과 같은 다양한 무선 환경에서의 TCP 성능 및 에너지 효율 개선에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 이문규, 김도우, 전성익, "이동통신과 무선 인터넷의 연동 시장 동향 및 전망", *ETRI 전자통신 동향분석 통권 85호 제19권 제1호*, pp. 60-66, 2004년 2월.
- [2] H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, S. Seshan and R. H. Katz, "A Comparison of Mechanisms of Improving TCP Performance over Wireless Links," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 5, No. 6, pp. 756-769, December 1997.
- [3] V. Tsaoussidis and I. Matta, "Open Issues on TCP for Mobile Computing," *The Journal of Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol. 2, No. 1, pp. 3-20, February 2002.
- [4] C. Jone, K. M. Sivalingam, P. Agrawal and J. C. Chen, "A Survey of Energy Efficient Network Protocols for Wireless Networks," *ACM/Baltzer Journal on Wireless Networks*, Vol. 7, No. 4, pp. 343-358, July 2001.
- [5] S. Mascolo, C. Casetti, M. Gerla, M. Y. Sanadidi and R. Wang, "TCP-Westwood : Bandwidth Estimation for Enhanced Transport over Wireless Links," *ACM MOBICOM'01*, pp. 287-297, July 2001.
- [6] A. Bakre and B. R. Badrinath, "I-TCP : Indirect-TCP," *IEEE International Conference on Network Protocols*, pp. 136-143, June 1995.
- [7] H. Balakrishnan, S. Seshan and R. H. Katz, "SNOOP : Improving Reliable Transport and Handoff Performance in Cellular Wireless Networks," *ACM Wireless Networks*, Vol. 1, No. 4, pp. 469-481, December 1995.
- [8] K. Park, S. Park and D. Park, "Enhancing TCP Performance over Wireless Network with Variable Segment Size," *The Journal of Communication and Networks*, Vol. 4, No. 2, pp. 108-117, June 2002.
- [9] W. Lilakiastakun and A. Seneviratne, "Enhancing TCP Energy Efficiency for Mobile Hosts," *ICON'02*, pp. 235-239, August 2002.
- [10] B. Burns and J. P. Ebert, "Power Consumption, Throughput and Packet Error Measurement of IEEE 802.11 WLAN Interface," Technical University Berlin Telecommunication Networks Group Technical Report, August 2001.
- [11] The Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nanam/ns/>



황 세 준

2003년 명지대학교 전자공학과 학사
2005년 광운대학교 전자통신공학과 석사
관심분야는 저전력 통신 프로토콜, 무선 네트워크



이 정 민

2000년 광운대학교 전자통신공학과 학사
2002년 광운대학교 전자통신공학과 석사
2002년~현재 광운대학교 전자통신공학과 박사 과정. 관심분야는 무선 TCP, 센서 네트워크



정 광 수

1981년 한양대학교 전자공학과 학사
1983년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사. 1991년 미국 University of Florida 전기공학과 박사(컴퓨터공학전공). 1983~1993년 한국전자통신연구원 선임연구원 1991~1992년 한국과학기술원 대우 교수. 1993년~현재 광운대학교 전자공학부 교수(정보통신 연구원)